

Trigeração de alta eficiência em sistemas de energia integrados

François Maréchal,
do Laboratório de Sistemas de Energia Industriais (Leni)
Escola Politécnica Federal de Lausanne,
Suíça

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um método voltado à integração de sistemas de poligeração em processos industriais e/ou estabelecimentos urbanos. Com base em um exemplo da indústria de alimentos, demonstra-se como a combinação da cogeração, bombeamento de calor e compressão mecânica de vapor pode ser utilizada para aumentar a eficiência do processo em termos de conversão de energia.

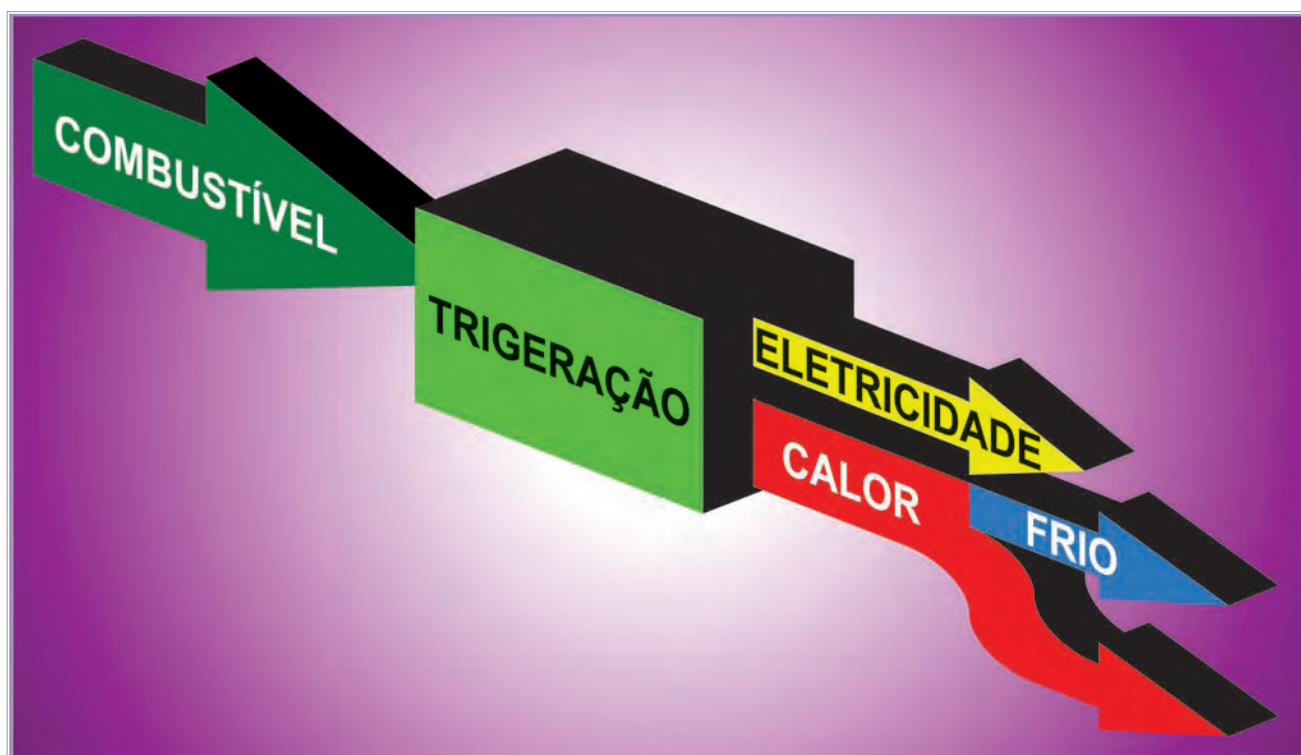
Diante da atualidade sócio-econômica e ambiental, a energia é a força impulsionadora do desenvolvimento. O papel dos sistemas de energia é converter os recursos renováveis e não renováveis disponíveis em produtos úteis e serviços de energia. A

eficiência da energia depende, portanto, de sistemas altamente eficientes.

Em processos industriais, a energia constitui o principal insumo para suprir os serviços. Para isso, os recursos energéticos têm de ser convertidos em energia útil para o sistema. A energia útil é

definida como calor, frio ou eletricidade. Na maioria dos sistemas, cada operação é produzida por uma unidade específica como caldeira, ciclo de refrigeração e a rede elétrica.

Os sistemas de trigeração visam produzir, simultaneamente, mais de um



Tudo em Material Elétrico



Estamos admitindo:
Gerente de vendas,
vendedores interno, externo,
representantes para todo o
território nacional com
experiência e que tenham
carteira de clientes.

**Exija uma
linha de produtos
de altíssima
qualidade!**

ROSSI
Comercial LTDA.

(11) 2240-5800 / 2240-5188
diretoria@rossicomercial.com.br
AV. Mendes da Rocha, 729-Jd. Brasil-São Paulo/SP

sob Schurter + OKW do Brasil
www.sob-brasil.com/okw
Fabricante OKW, GmbH Alemanha

Gabinete Blob

Inspirado pela sensação de toque único, o novo BLOB torna possível implementar muitas configurações diferentes e aplicações em um único conceito do produto através de seu design diferenciado e único. Seguindo os princípios de "Desenho Universal", os gabinetes BLOB suportam aplicações que são suficientemente flexíveis para satisfazer suas necessidades em vários tipos de aplicações. Presente em duas cores (branco ou lava), e feito de um material de alta qualidade ABS (UL 94 HB) os gabinetes possuem 3 versões diferentes que são facilmente manuseados e cabem perfeitamente em suas mãos. A gama de acessórios já contém contatos de bateria específicos, botões e prensa-cabos. Grau de proteção IP54 é possível com a ajuda da vedação opcional disponível.

Encaixe perfeito nas mãos

sob Schurter + OKW do Brasil Ltda.
Tel. 11 5090 0030 • info@sob-brasil.com
www.sob-brasil.com

COGERAÇÃO

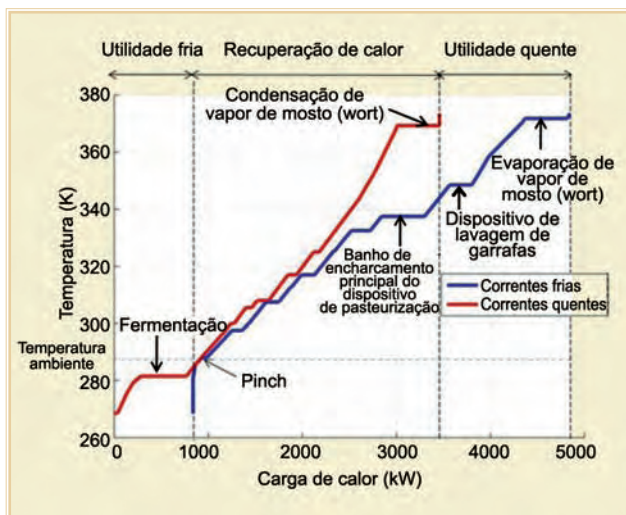


Fig. 1 – Curvas compostas quentes e frias do processo

sa análise resulta na definição da curva composta quente e fria do processo (figura 1), que permite calcular a possível recuperação de calor mediante troca de calor entre as correntes do processo.

dos serviços de energia. Portanto, a eficiência de tal integração é definida, principalmente, pela qualidade da integração do sistema.

Frequentemente, o projeto de sistema de trigerção baseia-se na definição da necessidade de energia. É importante seguir uma metodologia, a fim de definir o melhor projeto. No exemplo a seguir, discute-se a integração de um sistema de conversão de energia de trigerção em um processo de produção de bebida fermentada.

Integração do processo e trigerção

O primeiro passo da metodologia consiste na definição da necessidade de energia. Em um processo industrial, a necessidade de energia é definida como o conjunto de correntes a serem aquecidas e resfriadas. A definição da necessidade é obtida a partir de um modelo de processo no qual as unidades do processo são calculadas, a fim de definir os perfis de temperatura de entalpia de correntes quentes e frias. Os detalhes da análise são apresentados em [13] e seu foco consiste em comentar a integração do sistema de trigerção. Es-

Resultado do balanço térmico da necessidade do processo, o composto quente e frio define também a necessidade de aquecimento e resfriamento do processo. O cálculo da grande curva composta (figura 2) define o perfil da temperatura de entalpia da necessidade de aquecimento, resfriamento e refrigeração. Resultante da análise Pinch, o potencial de recuperação de calor corresponde a 1143 kW, isto é, 45% do consumo real. Isso também corresponde, mais ou menos, ao dobro da atual recuperação de troca de calor.

A análise da necessidade de energia leva à seguinte conclusão:

- A temperatura Pinch ($T_{\text{pinch}} = 12,5^{\circ}\text{C}$) corresponde às condições de entrada da água de processo e, portanto, corresponde também às condições da água de resfriamento. Por conseguinte, a temperatura Pinch também define o limite da temperatura de refrigeração.
- É requerido um sistema de refrige-

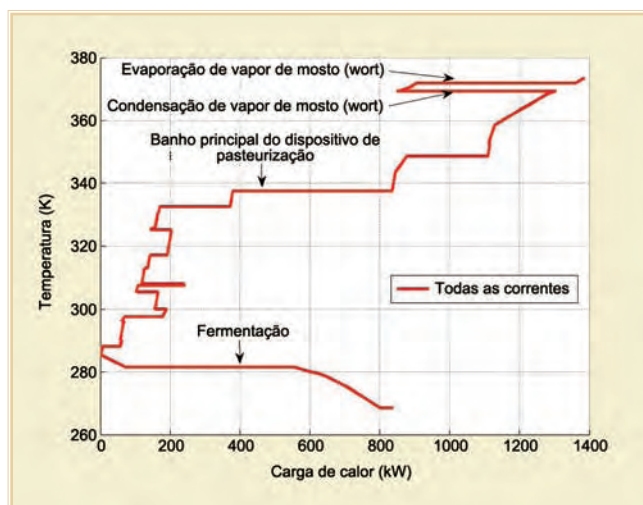


Fig. 2 – Grande curva composta do processo

ração abaixo da temperatura ambiente, a fim de atender à necessidade de refrigeração.

- A temperatura máxima do sistema corresponde à evaporação do mosto (*wort*), um pouquinho acima de 100°C.
- Uma zona autossuficiente corresponde à recuperação do vapor evaporado para pré-aquecer a água de processo.
- O processo poderia ser alimentado por um sistema de cogeração.
- A localização Pinch mostra a possível integração de um sistema de bomba de calor que poderia produzir a refrigeração requerida e, ao mesmo tempo, fornecer calor de temperatura média útil.

Integração do sistema de utilidades

O cálculo da integração do sistema de utilidades visa definir a melhor forma de suprir a necessidade do processo utilizando recursos de energia distribuídos. O cálculo do sistema de utilidades baseia-se em uma formulação MILP que calcula as vazões ideais dos fluxos de utilidade [16].

O método de integração de utilidades compreende três passos:

- Com base na análise da grande curva composta, definir a lista dos possíveis fluxos e ciclos de utilidade e calcular as propriedades (isto é, perfis de temperatura de entalpia e a produção/consumo de energia) que estão associadas a cada fluxo de utilidade.
- Utilizando modelo de otimização: Selecionar, na lista dos fluxos de utilidade, aquela que melhor atende à necessidade e calcular as vazões de cada um dos fluxos do sistema de utilidades, a fim de obter as curvas compostas balanceadas com o custo operacional mais baixo. Isso define a lista completa de fluxos no sistema para projetar a rede de trocadores de calor que será de interesse não apenas para os fluxos de processo, mas também para os fluxos de utilidade.
- Analisar as curvas compostas obtidas, a fim de comprovar que a lista de fluxos de utilidade opcionais está completa e que as condições operacionais dos fluxos de utilidade são as ideais. Caso contrário, deve retornar à etapa 1. O conceito de curvas compostas integradas apresentado em [15] constitui uma forma interessante de visualizar e anali-

COPPER 100

INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA



Total confiabilidade em ligas metálicas.

COPPER 100 Fios e Cabos

Nossa linha de condutores

elétricos de baixa tensão

de cobre nu e isolados

são qualificados pelo

Bureau Veritas, ISO 9001/2008.

Trabalhamos apenas com

material anti chama e

de alta qualidade, com

o melhor preço e prazo

de entrega para todo Brasil.



CONSULTE-NOS!

(11) 3478-6900

Surpreenda-se com
a qualidade de nosso
atendimento



www.copper100.com.br

Campo Visual Com



ISO 9001

BUREAU VERITAS
Certification



Rua Santana de Ipanema, 692 - CEP 07220-010 - Guarulhos - SP
Tel.: (11) 3478-6900 - copper100@copper100.com.br

sar a integração dos subsistemas de utilidade. Além disso, trabalhar com a dimensão de fator Carnot para desenhar as curvas compostas permite ter um indicador atraente para otimizar, graficamente, a escolha e as condições operacionais no sistema de utilidades [12, 14]. Quando existem várias opções, a escolha do refrigerante, da configuração de ciclo e das condições operacionais pode requerer a utilização de técnicas de otimização (por exemplo, [10]).

Deve ser mencionado que o método de integração de utilidades integra as restrições da cascata de calor e, portanto, supõe que a recuperação de calor de processo será realizada juntamente com a integração do sistema de utilidades. Isso é importante, uma vez que ele permite evitar sistemas de utilidades grandes demais que impediriam investi-

mentos ulteriores em conservação de energia.

O sistema atual

No sistema atual, uma caldeira alimentada com gás natural gera, atualmente, vapor a alta pressão (8,5 bar),

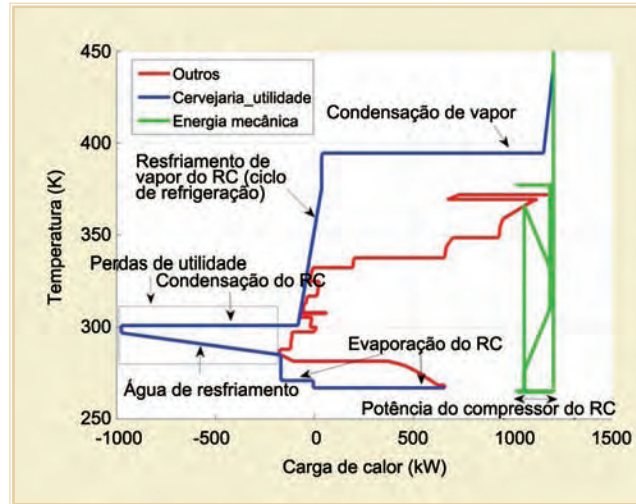


Fig. 3 – Atual configuração de utilidade: caldeira & ciclo de refrigeração (RC)

que é distribuído para o processo a uma pressão mais baixa (2,2 bar/123,3°C). A refrigeração requerida é suprida por um ciclo de refrigeração de NH₃ com dois níveis de evaporação, a -4°C e -8°C. A refrigeração requerida é suprida por água de refrigeração. Os resultados da integração são apresentados na figura 3, utilizando a curva composta integrada do sistema de utilidades. Os fluxos de utilidade são representados pela linha “cervejaria_utilidade” e as necessidades do processo correspondem à grande curva composta “Outros”. O

trabalho mecânico fornecido aos compressores (bomba de calor e ciclo de refrigeração) é representado pela linha “Energia Mecânica”.

Pode-se observar que essa situação, além realizar a recuperação de calor de processo, realiza também recuperação

SUA SOLUÇÃO EM CAPACITORES DE POTÊNCIA EPCOS

Fone: (51) 3431.3855 | 3488.2565
Fax: (51) 3431.3887
www.ifg.com.br | ifg@ifg.com.br
Avenida Ely Correa (RS 30), 945
Parada 88 | Gravataí/RS

IFG ELETRO MECÂNICA
INDÚSTRIA E COMÉRCIO

A CONEXÃO INTELIGENTE PARA CABOS FLEXÍVEIS

Agora a segurança de suas conexões elétricas está garantida com os Terminais TCM.
Produto normatizado pela COPEL (PR), CELESC (SC), CEMIG (MG) e ENERSUL (MS).

Praticidade, eficiência e máxima condutibilidade nas suas conexões.

Acompanha isolamento termo contrátil

Produto patentado. Reprodução proibida.

Fone/Fax (44) 3026-4317
www.tcmterminais.com.br

TCM
Terminais Elétricos

Tab. I – Características da unidade de cogeração baseadas em dados da GE-Jenbacher, faixa de potência de 500-1000 kW

Descrição	T _{dentro} (°C)	T _{fora} (°C)	ΔT _{min}	Potência (kW)	Eficiência (%)
M _{combustível} (kWe LHV)				2605	
W _e (kWe)				1063	40,8
Q _{th} (kW)				1190	46
Q _{gás} (kW)	470	120	15	537	21
Q _{resfriamento} (kW)	87	80	5	653	25

de calor do sistema de refrigeração e, portanto, traz uma economia de energia interessante. Todavia, a maior parte das correntes quentes do ciclo de refrigeração é removida pela água de refrigeração e evacuada para o meio ambiente. Na solução integrada, os ciclos de refrigeração consomem 184 kWe. Isso corresponde a uma redução de 225 kWe (56%) do atual consumo de energia mecânica do ciclo de refrigeração. Isso é explicado, principalmente, pelo fato de que, na presente situação, o ciclo de refrigeração é utilizado para penalizar os trocadores de calor que utilizam o ciclo de refrigeração para resfriar a corrente

acima da temperatura da água de resfriamento. Para obter o consumo mínimo do ciclo, é necessário identificar os trocadores de calor penalizados através da temperatura da água de resfriamento.

Aperfeiçoamento da integração do sistema de utilidades

A análise da figura 3 revela que a atual configuração das utilidades poderia ser aprimorada, substituindo-se o vapor de alta temperatura utilizado no processo por uma unidade de cogeração, que poderia fornecer calor a uma temperatura mais baixa e, ao mesmo tempo, produzir eletricidade. A análise

da integração do ciclo de refrigeração sugere que as temperaturas em que o calor é removido poderiam ser otimizadas por uma melhor graduação da necessidade de refrigeração e por um aumento da temperatura do nível de -4°C para mais próximo da temperatura de 5°C da refrigeração requerida. Além disso, aplicando-se as regras para a integração apropriada de bombas de calor, pode-se sugerir o aumento da temperatura de condensação dos ciclos de refrigeração, a fim de criar um efeito de bombeamento de calor. Como o COP (coeficiente de desempenho) do ciclo de refrigeração depende da razão de compressão e, portanto, do aumento de temperatura no ciclo, vários níveis de condensação serão avaliados. Para cada combinação de níveis de condensação/evaporação, o ciclo de NH₃ é calculado e uma coleção de ciclos é adicionada à lista de subsistemas de utilidade.

Integração do sistema de cogeração

Um motor recíproco parece consti-





MT 80



Solução.
Precisão para
cada Aplicação!

**Linha completa de Terminais,
Luvas e Receptáculos**



Linha completa de Ferramentas





PENZEL COMÉRCIO EXTERIOR LTDA.
Fone: (011) 5585-0998 - Fax: (011) 5584-9948
www.penzel.com.br

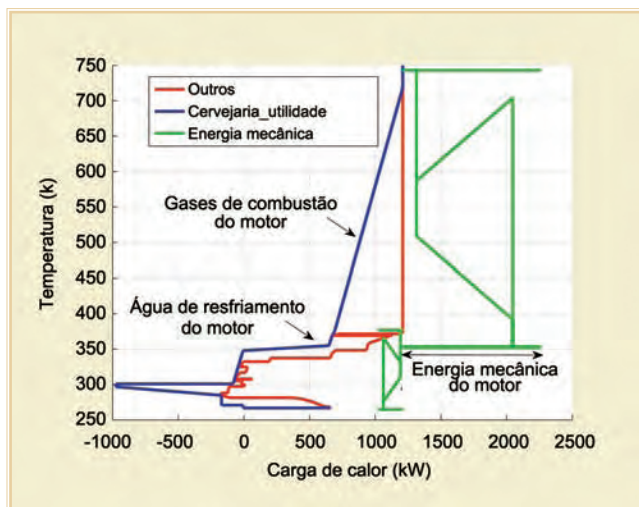


Fig. 4 – Caldeira substituída por um sistema de cogeração

tuir uma tecnologia adequada: ele tem uma eficiência elétrica interessante, sendo possível recuperar calor tanto dos gases de descarga como da água de resfriamento. A tabela I mostra as características do motor de cogeração que utiliza gás natural como combustível.

A figura 4 mostra o resultado da integração do motor de cogeração. Os gases de descarga possibilitam a evaporação de mosto ($T^{\text{sat}} = 373 \text{ K}$), enquanto que o resfriamento da água do motor fornece calor às correntes de processo abaixo de 360 K. A produção de potência corresponde a 1047 kW na situação integrada e a energia mecânica será uti-

lizada para acionar os compressores do ciclo de refrigeração (184 kW). Isso resulta em uma produção líquida da eletricidade que pode ser exportada para a rede ou ser utilizada para outra finalidade no processo.

Integração do sistema de bombeamento de calor

Abaixo da condição ambiente, pode-se notar que a temperatura do ciclo de refrigeração poderia ser otimizada, utilizando melhor o nível intermediário de refrigeração. A partir da análise da grande curva composta (figura 1), parece também importante tentar criar um efeito de bombeamento de calor através da integração do ciclo de refrigera-

ção. Isso é feito aumentando-se a temperatura de condensação do ciclo. Entretanto, como a vazão dos gases de combustão do motor de cogeração cria um ponto Pinch de utilidade (figura 4) que define a vazão de combustível, um sistema MVR (sistema de recompressão mecânica de vapor) utilizando o vapor produzido durante a evaporação de mosto permitirá uma melhor integração do sistema.

A recompressão mecânica do vapor é esquematizada na figura 5. Isso permitirá reduzir a necessidade de calor de alta temperatura e, portanto, reduzir o tamanho do motor de cogeração, permitindo o bombeamento de calor de alta temperatura mediante recuperação do calor de condensação do ciclo de refrigeração para pré-aquecimento do processo.

Como o calor da condensação do

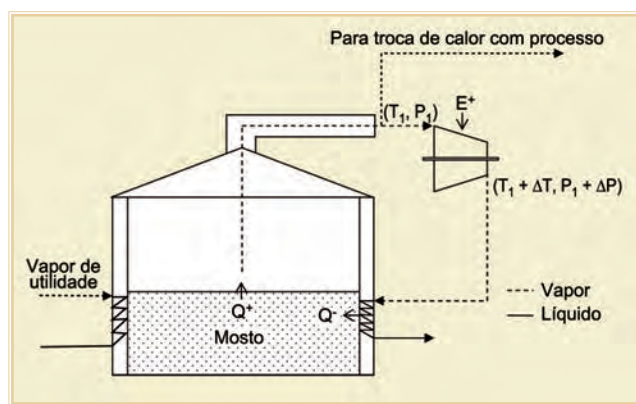


Fig. 5 – Vapor mecânico na evaporação de mosto

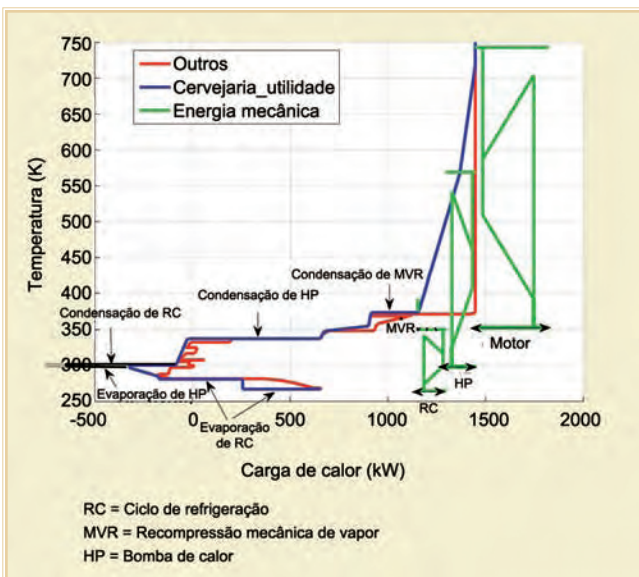


Fig. 6 – Sistema de cogeração + sistema de recompressão mecânica de vapor, condensação da bomba de calor a 66,5°C, COP = 5,37 (solução 4)

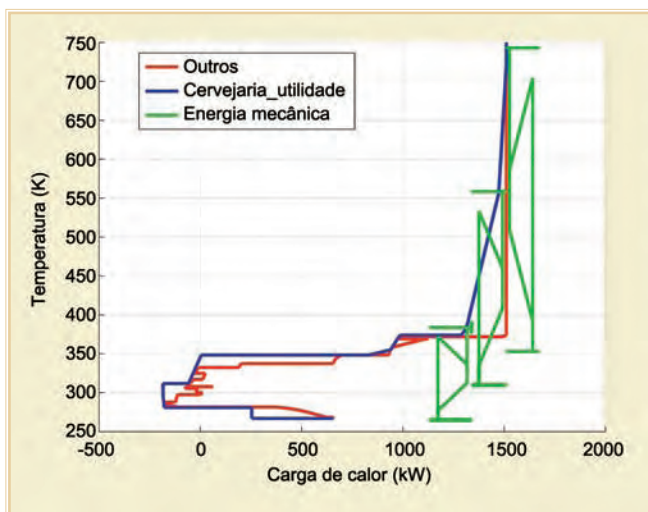


Fig. 7 – Sistema de cogeração + sistema de recompressão mecânica de vapor, condensação da bomba de calor a 77°C, COP = 5,71 (solução 5)

metalaSer
SUA INFRA ESTRUTURA EM NOSSAS MÃOS

Projeto, Fabricação e Montagem de Painéis



Painéis Certificados TTA e PTTA

PROJETOS

Todos os projetos atendem a NR10



ODCCs

ODCCs

PDUs Chaves de Transferência

Rua Ulisses Guimarães, 852 - Mauá - SP
Fone/Fax: (11) 4543-4300
E-mail: sales@metalaSer.com.br
www.metalaSer.com.br

kimak INVÓLUCROS METÁLICOS

- Invólucros metálicos;
- Mesas de comando;
- Painéis especiais;
- Painéis padrão;





Desenvolvemos seu projeto!

Visite nosso site
www.kimak.com.br
(47) 3251-7000

COGERAÇÃO

vapor, a priori, também é útil para atender às necessidades do processo (zona autossuficiente na figura 2), apenas a parte útil do MVR tem de ser calculada. Isso é feito introduzindo-se uma variável de decisão que representa a quantidade de vapor recomprimido.

A escolha das condições operacionais da bomba de calor define a temperatura em que o calor estará disponível e, por conseguinte, a quantidade de calor que será útil para o processo. Como uma função do nível selecionado, as outras vazões de utilidade serão atualizadas mediante otimização.

Duas bombas de calor com uma evaporação a 6°C (299 K) e com temperaturas de condensação de 66,5°C (340 K) e 77,5°C (351 K), respectivamente, são propostas e comparadas.

O segundo ciclo de refrigeração produz frio de -6°C (299 K) e temperaturas de condensação opcionais de 45°C (318 K) e 50°C (323 K) são consideradas.

Os resultados das configurações otimizadas, incluindo a integração de sistemas MVR e de bombeamento de calor, são apresentados nas figuras 6 e 7.

Pode-se observar uma clara redução das perdas de energia: as temperaturas de utilidade estão tão próximas quanto possível das temperaturas da energia de processo requerida. Também se pode notar uma drástica redução em perdas de utilidade: no caso em que a bomba de calor condensa a 77,5°C (351 K), a água de resfriamento externa requerida está próxima de zero, indicando que o calor de refrigeração global é utilizado como uma fonte para atender o calor de processo.

A tabela III apresenta os resultados

das diferentes soluções de integração de utilidades. Os desempenhos econômicos são calculados considerando-se o valor da energia e das emissões de CO₂ para os dados de eletricidade apresentados na tabela II.

Combinado com a recuperação de calor, o sistema de trigerção avançado oferece uma economia de energia de até 60%, reduzindo, ao mesmo tempo, a importação de eletricidade na mesma quantidade. É importante compreender que as soluções ideais dependem do teor de CO₂ equivalente do mix de eletricidade. Em um país como a Alemanha, onde a carga de eletricidade é pesada, as soluções com cogeração parecem ser a melhor opção. Isso se justifica pela substituição da eletricidade exportada a partir da rede. Em um país como a França, ao contrário, a melhor solução é aquela que integra as bombas de calor, permitindo reduzir as emissões de CO₂ em 64%.

É importante compreender que o bombeamento de calor e as soluções de MVR só se justificam quando são considerados juntos com a unidade de cogeração. Portanto, é importante adotar uma visão holística, uma vez que isso pode estar relacionado com investimentos consideravelmente diferentes. Por exemplo, o tamanho da unidade de cogeração da solução 2 é de 1400 kW_e, aproximadamente, enquanto que na solução 5, com bombeamento de calor, o motor de cogeração tem apenas 467 kW_e, isto é, 30% da solução 2.

Perspectivas da integração do sistema de trigerção

A abordagem apresentada baseia-se na média de tempo que permite considerar que todos os fluxos são simultâneos. Se o dimensionamento da operação em partes for considerado, será necessário adaptar a abordagem, a fim de integrar na análise o cálculo dos tanques de armazenamento que são requeridos para viabi-

Tab. II – Dados de custo e emissões de CO₂ para o mix de eletricidade

Energia/recurso	Custo unitário 2007 (sem impostos)	Emissões CO ₂
França		
Eletricidade	0,0541 €/kWh _e	55 g _{CO2} /kWh _e
Gás natural	0,0271 €/kWh _{LHV}	231 g _{CO2} /kWh _{LHV}
Água	0,00657 €/m ³	—
Alemanha		
Eletricidade	0,0927 €/kWh _e	624 g _{CO2} /kWh _e
Gás natural	0,0417 €/kWh _{LHV}	231 g _{CO2} /kWh _{LHV}

lizar a recuperação de calor. Ao se estudar a integração do sistema de trigeração, será necessário dimensionar os tanques não apenas para permitir a recuperação de calor, mas também para aproveitar as oportunidades do mercado de eletricidade. O sistema de trigeração é, de fato, uma maneira de armazenar eletricidade proveniente da rede na forma de calor ou frio. O armazenamento de calor ou frio também permite que a unidade de cogeração realize o corte de picos de demanda.

A configuração final é apresentada na figura 8. O método de otimização baseado em uma estratégia de otimização de múltiplos objetivos apresentado por Weber et al. permite projetar o sistema de trigeração e os tanques de armazenamento, levando em conta o emprego de uma estratégia de gestão ideal preditiva [17]. Além disso, métodos como aquele proposto por Collazos et al. podem ser empregados para implementar a estratégia de gestão ideal preditiva em um sistema de controle [11].

Conclusão

A integração ideal de sistemas de trigeração é realizada em várias etapas. A primeira consiste na definição da necessidade, seguida da definição do potencial de recuperação de calor entre as correntes quentes e frias do processo. Esse passo é obrigatório, uma vez que permite definir a necessidade de aquecimento e esfriamento a ser satisfeita pelo sistema de trigeração. Outras abordagens baseadas no emprego do presente sistema de utilidades levariam a sistemas e investimentos desnecessários que, além disso, impediriam as futuras opções de conservação de energia.

O sistema de trigeração é dimensionado, primeiramente, identificando-se as possíveis opções de trigeração baseadas na análise da grande curva composta do sistema. A configuração do sistema é, então, definida, aplicando-se um modelo de otimização que calcula as melhores vazões do sistema. Foi demonstrado que a análise apropriada do sistema de trigeração requer que seja considerada a possível integração, não apenas no nível do processo, mas também no nível da possível integração dentro do sistema de trigeração.

O exemplo apresentado mostra que a

Ferramentas de Compressão • Abraçadeiras de Nylon Terminais e Conectores Elétricos

AGILIDADE



é você quem escolhe

A Crimper está investindo no aumento da produção e em tecnologias inovadoras para melhor atender aos nossos clientes. Nossos terminais laminados são fabricados a partir de fitas de cobre eletrolítico e são isolados com PVC rígido de alta resistência mecânica com propriedades anti-chama, garantindo maior qualidade e segurança para suas instalações.



Cobre Eletrolítico 99% IACS
Isolação anti-chama
Rígido controle de qualidade



CRIMPER®
Terminais elétricos e ferramentas de compressão

Ligue 0800 772 1777 e descubra porque a CRIMPER® oferece as melhores soluções
São Paulo - Vendas (11) 3834-0422 | Campinas - Vendas, Administração e Fábrica (19) 3246-1722

combinação de um ciclo de refrigeração, no qual o calor da condensação é utilizado como uma bomba de calor para pré-aquecer as correntes de processo, com um sistema de recompressão mecânica de vapor que permite a utilização do calor da unidade de cogeração removendo-se um ponto Pinch de utilidade, permite obter uma economia de energia de 60%, aproximadamente, bem como as correspondentes emissões de CO₂.

A configuração do sistema de trigeração é influenciada pelo valor do mix de eletricidade em energia primária ou das emissões de CO₂. Em países onde a eletricidade tem um alto valor e um alto teor de CO₂, a solução mais indicada é a cogeração devido ao benefício da substituição da eletricidade

Tab. III – Resumo dos resultados

	0	1	2	3	4
Gás natural (kW)	3133	2088	3279	1677	1140
Eletricidade (kWe)	465	184	-863	-80	212
Água (kg/s)	32,0	17,1	17,1	3,2	0,2
Operação - custos França (kd/ano)	580	332	210	205	212
Operação - custos Alemanha (kd/ano)	910	520	283	312	336
Custos totais França (kd/ano)	580	332	308	274	274
Custos totais Alemanha (kd/ano)	910	520	380	381	398
CO ₂ total França (ton/ano)	3767	2459	3544	1912	1372
CO ₂ total Alemanha (ton/ano)	5277	2987	1094	1686	1976

0: referência

1: recuperação de calor e caldeira

2: recuperação de calor e motor de cogeração

3: recuperação de calor, cogeração, recompressão mecânica de vapor e bomba de calor a T_{cond} = 66,5°C

4: recuperação de calor, cogeração, recompressão mecânica de vapor e bomba de calor a T_{cond} = 77,5°C

Custos anuais totais = Custos operacionais + investimento anualizado (taxa de juros = 5%, tempo de retorno = 15 anos)

da rede. Em países onde os preços da eletricidade são mais atraentes, soluções de bombeamento de calor altamente integradas e combinadas com unidades de cogeração menores são preferidas.

Referências

- [1] Ademe, January 2005, Note de cadrage sur le contenu CO₂ du kWh par usage en France.
- [2] Becher, H.; Marechal, F.; Vuillemoz, A., September 2009, *Process Integration and Opportunity for Heat Pumps in Industrial Processes*, Proc. ECOS 2009: 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems.
- [3] Leyland, G.B., 2002, *Multi-Objective Optimisation applied to Industrial Energy Problems*, PhD thesis n°2572, Lausanne: EPFL-STI, Industrial Energy System Laboratory.
- [4] Linnhoff, B.; Townsend, D.W. et al., 1994, *A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy*, Institution of Chemical Engineers, IChemE; Revised Sub Edition.
- [5] Marechal, F.; Kalitventzeff, B., 1998, *Energy integration of industrial sites: tools, methodology and application*, Applied Thermal Engineering, 18:921-933.

Fundada em 1954

EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001

PADRÕES ABNT ANSI DIN

CERÂMICA SÃO JOSÉ LTDA

PEDREIRA - EST. S. PAULO

Classe de Tensão até 38KV

ISOLADORES EM PORCELANA E POLIMÉRICOS

www.ceramicasaojose.com.br

Rua: Antonio Pedro, 771 - Centro Cep. 13920-000

Pedreira - SP Fone: (19) 3852-9555

vendascsj@uol.com.br / csjvendas@uol.com.br

Nema ENERGY

www.nema.com.br

GRUPO GERADOR A DIESEL



Principais Aplicações:

- Condomínio Residenciais e Prediais;
- Industrias;
- Postos de Combustíveis;
- Uso Rural (Aviário, Estufas, Granja e outros);

Rua xv de Novembro, 1122 - Laranjeiras - Rio do Sul - SC Fone: 47 3531-8700

BNDES

- [6] Molyneaux, A., 2002, *A Practical Evolutionary Method for the Multi-Objective Optimisation of Complex Energy Systems, including Vehicle Drivetrains*, PhD thesis n°2636, Lausanne: EPFL-STI, Industrial Energy System Laboratory. 2nd European Conference on Polygeneration – 30th March -1st April 2011 – Tarragona, Spain.
- [7] Muller, D., 2007, *Web-based tools for energy management in large companies applied to food industry*, PhD Thesis n° 3785, Lausanne: EPFL-STI, Industrial Energy System Laboratory.
- [8] Observatoire de l'Énergie, august 2007, *Prix du gaz et de l'électricité en Europe au 1er janvier 2007*, Energies & Matières Premières, Paris.
- [9] Umweltbundesamt, April 2009, *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2007*, FG 12.5.
- [10] Becker, H.; Spinato, G.; Maréchal, F. A Multi-Objective Optimization Method to integrate Heat Pumps in Industrial Processes. In *Computer Aided Chemical Engineering series European Symposium on Computer Aided Process Engineering-21*, 2011.
- [11] Collazos, A.; Marechal, F.; Gaehler, C. Predictive Optimal Management Method for the control of polygeneration systems. *Comput. Chem. Eng.*, 33(10):1584–1592, Oct. 2009.
- [12] Dhole, V.R.; Linnhoff, B. Total site targets for fuel, co-generation emissions, and cooling. *Computers and Chemical Engineering*, 17(16):s101–s109, 1992.
- [13] Dumbilauskaitė, M.; Becker, H.; Marechal, F. Utility Optimization in a Brewery Process Based on Energy Integration Methodology. In *23rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2010)*, 2010.
- [14] Marechal, F.; Favrat, D. Combined Exergy and Pinch Analysis for Optimal Energy Conversion Technologies Integration. In *ECOS 2005, 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, Trondheim, Norway, volume 1 of ECOS 2005, pages 177–184, 2005.
- [15] Marechal, F.; Kalitventzeff, B. Targeting the Minimum Cost of Energy Requirements: a new graphical technique for evaluating the integration of utility systems. *Computerschem. Engng*,

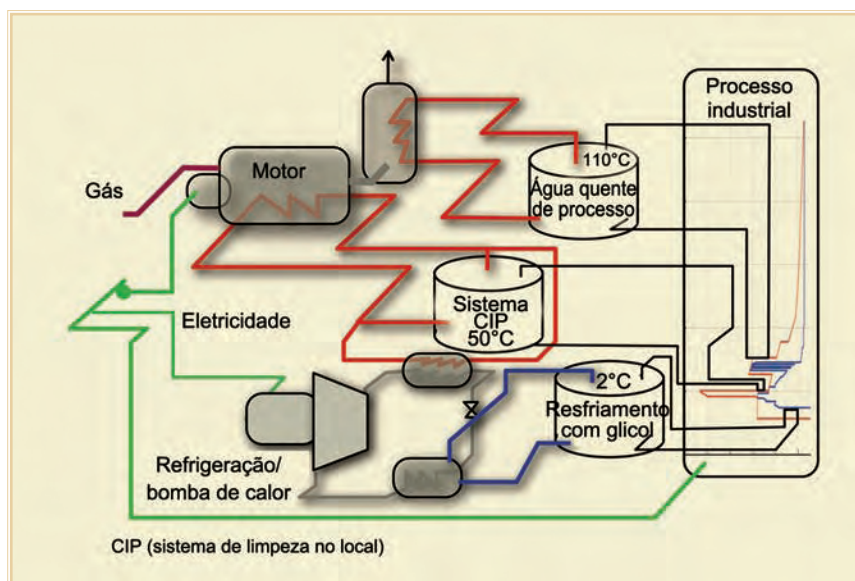


Fig. 8 – Configuração do sistema de tanque de armazenamento

- 20(Suppl.):S225–S230, 1996.
- [16] Marechal, F.; Kalitventzeff, B. Targeting the integration of multi-period utility systems for site scale process integration. *Applied Thermal Engineering*, 23:1763–1784, Apr. 2003.
- [17] Weber, C.; Marechal, F.; Favrat, D.; Kraines, S. Optimization of an SOFC-based decentralized polygeneration system for providing energy services in an office-building in Tokyo. *Applied Thermal Engineering*, 26:1409–1419, 2006.

Agradecimentos: O autor reconhece aqui a contribuição de Helen Becker e Monika Dumbilauskaitė pelas contribuições em [13].

Trabalho apresentado na 2nd European Conference on Polygeneration, realizada de 30 de março a 1º de abril de 2011, em Tarragona, Espanha.

AcuityBrands.



Iluminação Externa

Tecnologia LED



AEL - ATB1 - Autobahn Series

- Luminária LED de alta performance compatível com vapor de sódio de 70W a 250W
- Distribuição fotométrica IESNA Tipo II ou III
- Luz branca neutra 4000K com opção para 3000K (mais amarela) ou 5000K (mais branca)
- Corpo de alumínio injetado de alta resistência a impacto e tratamento anti-corrosão
- Receptáculo para controle por foto-célula
- Dimerização opcional permite economizar energia em horários de menor fluxo.
- **Aplicação:** Pátios Industriais, Portos, Vias Públicas e Condomínios.

Potencia Equivalente		
Modelo ATB1	LED	V. SÓDIO
30LED E35	37W	70W
60LED E35	72W	100W
30LED E70	75W	150W
60LED E70	146W	250W

luminárias PROJETO

Fábrica: Via Anchieta, km 11 - São Paulo - SP
home page: www.luminariasprojeto.com.br
PABX: (11) 2946-8200